

37. Appl. Atomics, No. 580, 7 (1966).
 38. Appl. Atomics, No. 596, 10 (1967); Nucl. Engng, 11, 920 (1966).
 39. Metal and Mineral Markets, 37, 4 (1966); Mineral Trade Notes, 64, 26 (1967).

40. Atomwirtschaft, 12, 59 (1967).
 41. Mining J., 267, 18 (1966); Metal Bull., No. 5169, 19 (1966).
 42. Atomwirtschaft, 12, 112 (1967).
 43. New York Times, 14 August 1966.

IV Доклад Научного комитета ООН по действию атомной радиации

Недавно был опубликован IV доклад Научного комитета * ООН по действию атомной радиации. Подобно докладу 1964 г. **, новый документ не ставит своей целью охватить полностью все области, представляющие интерес для Комитета. В частности, в нем не затронуты медицинские или соматические последствия облучения. В докладе рассмотрено лишь действие естественно и искусственно радиоактивных веществ на биосферу и генетический эффект облучения.

Доза фонового облучения от природных источников. В связи с последними данными о потоке нейтронов космического излучения Комитет пересмотрел оценку мощности дозы (2 мрад/год), сделанную в докладе 1962 г. В настоящее время Комитет полагает, что доза нейтронов составляет 0,3—1,1 мрад/год . Этот диапазон обусловлен точностью измерений и зависимостью плотности потока нейтронов от высоты.

Никаких изменений не внесено в принятую в докладе 1962 г. оценку дозы от других (так называемых непосредственно ионизирующих) компонентов космического излучения, равную 28 мрад/год . Эта мощность дозы увеличивается приблизительно вдвое на каждые 1500 м роста высоты на протяжении первых нескольких километров над уровнем моря.

Известно, что действие нейтронов в биологическом отношении более эффективно, чем γ -излучения. При оценке опасности нейтронов космического излучения необходимо иметь в виду их относительную биологическую эффективность (ОБЭ). Коэффициенты ОБЭ известны только для малых доз, хотя их значения часто принимают равными 10 для любых облучений. Даже с таким высоким весовым множителем доля нейтронов в общей мощности дозы от природных источников невелика.

Комитет вновь рассмотрел вопрос о мощностях доз внешнего облучения, обусловленного природными источниками, и подтвердил мнение, выраженное в докладе 1962 г., о том, что средняя мощность дозы внешнего облучения, которому подвергается население земного шара, составляет приблизительно 50 мрад/год .

Основными природными источниками внутреннего облучения являются K^{40} , который распределяется относительно равномерно по всему организму человека, и члены уранового и ториевого рядов, облучающие главным образом кости и костный мозг; C^{14} и Rb^{87} относятся к другим изотопам, мощности доз которых значительно меньше.

Оценки мощностей доз внутреннего облучения гонад, костных клеток и кроветворящих клеток за счет радиоактивных изотопов, отложенных в организме,

в основном такие же, какие указаны в докладе 1962 г. Однако из-за отсутствия достоверных сведений о биологическом действии малых доз α -излучения в новом докладе указаны только поглощенные дозы (мрад/год).

Комитет пересмотрел оценку доз облучения естественно радиоактивными веществами, действующими на ткани легких. Такие вещества попадают в легкие главным образом при вдыхании аэрозолей — дочерних продуктов распада радона, которые отлагаются на стенках альвеол и бронхов и остаются там настолько долго, что дозы облучения оказываются значительными.

Дозы естественного фонового облучения сведены в табл. 1.

Загрязнение биосферы в результате ядерных испытаний Ядерные испытания — основной источник радиоактивного загрязнения биосферы. На долю радиоактивных отходов установок, использующих ядерное сырье для промышленных, медицинских и научно-исследовательских целей, приходится очень незначительные доли дозы облучения популяции за счет искусственных источников.

В результате измерений радиоактивности в стратосфере, где в основном находятся радиоактивные осколки, осаждающиеся по всему земному шару, и подсчетов общего количества искусственно радиоактивных веществ на земной поверхности получены оценки существующего и ожидаемого загрязнения земли, которые равны указанным в докладе Комитета в 1964 г. или несколько меньше их.

Новые данные свидетельствуют о том, что коэффициенты дискриминации, используемые для подсчета загрязнения продуктов питания Sr^{90} , содержащихся в почве, были завышены, и вследствие этого дозы, обусловленные Sr^{90} , следует пересчитать. Численные коэффициенты, которые используются при подсчете ожидаемых внутренних доз, обусловленных Cs^{137} , были несколько завышены, если принять во внимание новую информацию. В результате эти дозы несколько больше приведенных в 1964 г.

Комитет изменил метод расчета дозы внешнего облучения искусственно радиоактивными изотопами, выпавшими на землю, однако существенных изменений в полученных цифровых значениях не обнаружено.

Оценки средних доз облучения и доз, которые будут получены популяцией земного шара к 2000 г. в результате всех испытаний, проведенных к концу 1965 г., приведены в табл. 2. Эти оценки мало отличаются от сделанных в 1964 г. Доля общей ожидаемой дозы от внешних источников колеблется в пределах от $\frac{2}{3}$ для гонад до $\frac{1}{5}$ для клеток, выстилающих поверхность кожи.

Генетическая опасность ионизирующих излучений. Излучение может вызывать мутации генов или аномалии хромосом. Мутации генов приводят к изменению элементарных единиц информации, из которых состоит

* Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations; General Assembly Official Records: Twenty-First Session, Suppl. No. 14, (A/6314). United Nations, N.Y., 1966, p. 154.
 ** «Атомная энергия», 20, 86 (1966).

Таблица 1

Мощности доз внешнего и внутреннего облучения от естественных источников в «нормальных» районах

Источник облучения	Мощность дозы, мрад/год		
	гонады	клетки, выстилающие поверхность кости *	костный мозг
Внешнее облучение			
Космические лучи:			
ионизирующий компонент	28	28	28
нейтроны	0,7	0,7	0,7
Излучение земли (и воздуха)	50	50	50
Внутреннее облучение			
K ⁴⁰	20	15	15
Rb ⁸⁷	0,3	0,3	0,3
Cl ³⁴	0,7	1,6	1,6
Ra ²²⁶	—	0,6	0,03
Ra ²²⁸	—	0,7	0,03
Po ²¹⁰	0,3	2,1	0,3
Rn ²²² (растворенный в тканях)	0,3	0,3	0,3
Итого **	100	99	96
Доля (%) α-частиц и нейтронов	1,3	4,4	1,4

* Приведенные здесь мощности доз фактически были подсчитаны для гаверсовых каналов кости. Дозы, полученные клетками, выстилающими поверхность кости, могут быть несколько меньше указанных.

** Суммы округлены до двух значащих цифр.

генетический шифр, получаемый потомством от своих родителей, а аномалии хромосом вызывают потерю, дублирование или перестройку мелких или крупных частей этого шифра.

Опираясь на достижения генетики и цитологии последних лет, Комитет пересмотрел ранее сделанные оценки опасности индукции генных мутаций и аномалий хромосом.

Полагают, что спонтанные генные мутации появляются в каждом поколении примерно в одной из семи гамет (зрелые зародышевые клетки) у мужчин и, вероятно, в меньшей степени у женщин. Большая часть этих постоянно возникающих мутаций в различной степени вредна для организма, и последствия мутаций ликвидируются пропорционально ущербу, наносимому данной популяции.

Можно оценить частоту тех мутаций, которые вызывают различные тяжелые наследственные заболевания и, будучи доминантными, проявляются непосредственно в следующем поколении. Общая частота появления таких мутаций — по-видимому, один-два случая на 10 тыс. зародышевых клеток в каждом поколении. Поэтому среди всех спонтанных мутаций только одна из тысячи является доминантной, связанной с ясно распознаваемой наследственной болезнью. Гораздо больше мутаций, не обязательно доминантных, по-видимому, связано с другими болезнями, определить генетическое происхождение которых значительно сложнее.

Аномалии хромосом, разделяемых на аутосомы и половые хромосомы, представляют собой отклонения в числе или структуре хромосом. За исключением зрелых зародышевых клеток, клетки человека несут по двадцать две пары аутосом и одну пару половых хромосом. Оба элемента каждой из двадцати двух пар

аутосом имеют одинаковое морфологическое строение независимо от пола субъекта, которому принадлежит данная клетка; половые хромосомы каждой пары у женщин имеют аналогичное строение, у мужчин различаются.

Первая аномалия, обнаруженная у человека, связана с присутствием специфической дополнительной аутосомы и сопровождается тяжелой болезнью, называемой «синдромом Дауна» (монголизм). Другие дополнительные хромосомы описаны позже. Эти аномалии были всегда связаны с тяжелыми болезнями. Частота появления детей с дополнительными аутосомами — примерно двое на тысячу живорожденных.

Синдромы, вызванные изменениями числа половых хромосом или потерей какой-либо хромосомы, обнаруживают примерно у трех из тысячи живорожденных детей. Хотя такие аномалии приводят к менее тяжелым последствиям, чем появление дополнительных аутосом, результатом все же являются серьезные клинические синдромы и обычно стерильность.

Изменения в структуре и числе хромосом, по-видимому, происходят с равной частотой, однако у человека легко определить только два вида структурной перестройки — транслокации и делеции, которые наблюдаются в аутосомах и в половых хромосомах. Транслокации представляют собой обмен фрагментами между неидентичными хромосомами. При одном обследовании, проведенном среди взрослых, транслокации наблюдались у пяти из тысячи человек. Если в клетке сохраняется весь хромосомный материал, то даже в тех случаях, когда он в результате транслокации расположен в другом порядке, аномалия называется уравновешенной, и у человека обычно не проявляется ненормальностей. При перестройке хромосом во время созревания зародышевых клеток могут возникнуть неуравновешенные

Ожидаемые дозы от продуктов ядерных испытаний

Таблица 2

Ткань	Источник излучения	Ожидаемая доза за период испытаний 1954—1965 гг., <i>мрад</i> *
Гонады	Внешний	
	короткоживущий Cs137	23
		25
	Внутренний	
	Cs137	15
	C14 **	13
	Итого *** . . .	76
Клетки, выстилающие поверхность кости	Внешний	
	короткоживущий Cs137	23
		25
	Внутренний	
	Sr90	156
	Cs137	15
	C14 **	20
	Sr89	0,3
	Итого *** . . .	240
Костный мозг	Внешний	
	короткоживущий Cs137	23
		25
	Внутренний	
	Sr90	78
	Cs137	15
	C14 **	13
	Sr89	0,15
	Итого *** . . .	150

* Как и в докладах 1962 и 1964 гг., Комитет за основу оценки сравнительной опасности проведенных ядерных испытаний брал ожидаемые дозы облучения гонад, клеток, выстилающих поверхность кости, и костного мозга. Ожидаемая доза характерна в среднем для популяции земного шара и накапливается в течение периода полного распада радиоактивного вещества, попавшего в окружающую среду. Некоторая часть компонентов ожидаемых доз может накапливаться в течение очень большого периода времени.

** Как и в докладе 1964 г., для C14 приведены только дозы, которые будут накоплены к 2000 г.; к этому времени распад других изотопов по существу завершится. Общая ожидаемая доза облучения гонад, обусловленная C14, образующимся в результате ядерных испытаний, проведенных к концу 1965 г., составит приблизительно 180 *мрад*.

*** Суммы округлены до двух значащих цифр.

транслокации, характеризующиеся недостатком или излишком хромосомного материала. Люди с неуравновешенными транслокациями могут жить, но их организм будет подвержен острым заболеваниям.

Делеции представляют собой утрату части хромосомы, что сопровождается тяжелыми болезнями. Общую частоту появления делеций в популяции пока еще оценить не удалось. Один тип делеции, вероятно, появляется по крайней мере у двух из 10 тыс. живорожденных детей. Кроме того, примерно 4% беременностей

заканчиваются выкидышами в результате какой-либо аномалии хромосом, однако при существующем уровне знаний невозможно определить, имеет ли это генетическое происхождение.

Точные доказательства генетических повреждений у потомства людей, подвергшихся облучению, очень мало. Единственным достоверным доказательством является изменение соотношения полов *. Такой эффект, хотя он и имеет генетическое происхождение, очень трудно объяснить, и эти наблюдения редко используют для оценки других генетических последствий радиационного повреждения. Чаще применяют результаты, полученные на экспериментальных животных. Ограниченность этих оценок очевидна, поскольку разные животные отличаются друг от друга своей восприимчивостью к радиационным генетическим изменениям и нет данных об относительной радиочувствительности генетического материала человека по сравнению с животными. Единственное млекопитающее, относительно подробно изученное с точки зрения радиационной генетики, — мышь. Большая часть экспериментальных данных была получена при работе с незрелыми зародышевыми клетками, в которых сконцентрирован генетический материал, поврежденный излучением.

Общая опасность индукции генных мутаций, основанная на остром облучении мышей большими дозами, оценена Комитетом в две мутации на 1000 мужских гамет на 1 *рад*. Частота индукции мутации намного меньше, если облучение происходит при относительно низких мощностях доз. Напомним, что на долю гонад человека от естественных источников приходится около 0,1 *рад/год* и около 3 *рад* в течение репродуктивного периода.

Данные об индукции аномалий хромосом у мышей более скудны, но они могут быть дополнены сведениями, полученными при облучении соматических клеток человека, выращенных *in vitro*. Ограниченность такого материала связана с тем, что аномалии, индуцированные в этих клетках, могут не передаваться при делении клетки так же, как если бы они были индуцированы в незрелых зародышевых клетках в самом организме.

Утрата какой-либо половой хромосомы индуцируется у мыши с частотой 1—4 на каждые 100 тыс. незрелых мужских зародышевых клеток на 1 *рад*. У человека утрата половой хромосомы — одно из наиболее частых явлений аномалий хромосом, связанных со спонтанными выкидышами.

Оценить величину транслокаций, искусственно вызываемых у человека, можно на основе данных, полученных в экспериментах с мышами и соматическими клетками человека, выращенными *in vitro*. Дозе 1 *рад* соответствует примерно одна транслокация на каждые 200 тыс. мужских незрелых зародышевых клеток. При более высоких дозах число искусственно вызываемых транслокаций растет быстрее линейной зависимости от дозы.

Из этих данных следует, что при дозе 1 *рад* на поколение добавляется приблизительно $1/70$ общего числа мутаций, возникающих в поколении. Точность этой оценки невелика, однако она не расходится с установленной в докладе 1962 г. ($1/10—1/100$). Известно, что подавляющее большинство всех вредных мутаций проявляется в небольшом снижении жизнеспособности организма в течение внутриутробного и послеродового периода жизни, и их воздействие на состояние здо-

* «Атомная техника за рубежом», № 10, 37 (1965).

ровья человека определяется лишь с трудом. Эти изменения, однако, будут проявляться в течение многих поколений.

Соотношение $1/70$, упомянутое выше, может также относиться к наследственным заболеваниям человека, которые, как известно, являются серьезными и могут передаваться непосредственно от родителя к потомкам. Следует, однако, еще раз подчеркнуть, что эти заболевания лишь незначительно усиливают вред генных мутаций. Есть данные, что такие полностью унаследованные признаки, как физическое сложение и умственные способности, могут быть обусловлены искусственно вызванными мутациями.

Спонтанные аномалии хромосом являются причиной примерно $1/4$ всех выкидышей, и от этих аномалий страдает 1% живорожденных детей. При существующем уровне знаний можно лишь оценить, в какой степени высокие дозы облучения вызывают такие хромосомные повреждения, в которые входит малая доля естественно возникающих аномалий. Можно определить число аномалий, образовавшихся после облучения большими дозами, хотя эта частота аномалий (на единицу дозы) долж-

на быть гораздо меньше, чем при линейной зависимости эффекта от дозы. Следует отметить, что большая часть таких генетических повреждений остается в популяциях, как это предполагают, на протяжении не более одного поколения.

Комитет придерживается мнения, что в связи с большими неопределенностями в приведенных оценках они не должны применяться в чистом виде при решении вопросов радиационной защиты. Использовать их на практике следует только с учетом всех указанных выше оговорок. В то же время сделанные выводы имеют большую практическую ценность. В частности, следует подчеркнуть, что генетическая опасность на единицу дозы облучения будет меньше, если облучение растянуто во времени и связано с низкой мощностью дозы или когда между облучением женской зародышевой клетки и зачатием проходит большой период времени. Эти факторы необходимо учитывать при оценках относительной радиационной опасности работ с источниками ионизирующих излучений и радиоактивными веществами.

Ю. В. СИВИНЦЕВ

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

С 12 по 18 апреля 1967 г. в Софии (НРБ) состоялось 13 заседание рабочей группы по ядерному приборостроению. В работе заседания приняли участие специалисты из НРБ, ВНР, ПНР, СРР, СССР и ЧССР. Были рассмотрены вопросы дальнейшего совершенствования ядерной лабораторной аппаратуры, рекомендации по стандартизации приборов для измерения ионизирующих излучений («Общие технические требования»), а также вопросы унификации основных технических параметров многомерных анализаторов. Были обсуждены технические вопросы, связанные с выполнением плана Комиссии по координации научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ по созданию систем приборов автоматического контроля и управления ядерными реакторами АЭС. Очередное заседание комиссии состоялось в июне 1967 г. в Варшаве (ПНР).

2–10 марта 1967 г. в Монако состоялся Международный симпозиум по методам регистрации излучений малой интенсивности и радиоактивному определению возраста. Симпозиум был организован МАГАТЭ и Совместной комиссией по прикладной радиоактивности (СКПР).

В симпозиуме участвовало 170 специалистов, представлявших 30 стран и три международных организации.

Программа симпозиума состояла из трех основных тем: 1) определение возраста с помощью радиоактивно-

сти, вызываемой космическим излучением; 2) определение возраста с помощью первичных изотопов; 3) методы регистрации счета излучений. Было представлено 65 докладов, которые в основном были посвящены новым и усовершенствованным методам радиоактивного определения возраста и новым областям его применения. Эти методы в настоящее время широко используются в геохронологии, археологии, при изучении возраста метеоритов, в геохимии, геологии и других областях науки.

Большую ценность для геохронологов представляет метод определения возраста геологических образцов под названием «радиоактивные часы». Некоторые явления в атмосфере изучают на основе измерения радиоактивности метеоритов, обусловленной космическим излучением. Очень ценной является информация о перемещении радиоактивного углерода в атмосфере, земле и воде. Изучение присутствия радиоактивного углерода в исследуемых объектах дает сведения о солнечной активности и климатических и геологических явлениях.

На симпозиуме было уделено большое внимание усовершенствованию методов измерения проб малой активности. Подобные разработки очень важны для достижения большей точности и чувствительности измерений, что позволяет в свою очередь увеличить диапазон возраста исследуемых объектов.

Материалы симпозиума будут опубликованы МАГАТЭ в 1967 г.

24–27 апреля 1967 г. в Вене проходило совещание экспертов МАГАТЭ, на котором рассматривались данные по запаздывающим нейтронам деления и их интерпретация. В работе совещания приняли участие 14 представителей из девяти стран. Были рассмотрены и проанализированы работы в области запаздывающих нейтронов. В последние годы наряду с изучением отдельных групп запаздывающих нейтронов, их распространенности и периодов полураспада подробно исследовались процессы, предшествующие испусканию запаздывающих нейтронов. Поскольку данные о запаздывающих нейтронах деления имеют большое значение для расчетов реакторов и изучения структуры ядра, в рекомендациях совещания отмечается необходимость исследования энергетических спектров запаздывающих нейтронов, их абсолютных и относительных выходов, а также важность определения и анализа радиоактивных изотопов, участвующих в этом процессе. Эти данные особенно важны для расчета реакторов с напряженным тепловым режимом.

Истек срок действия Соглашения СССР и Франции о сотрудничестве в области использования атомной энергии в мирных целях, подписанного 4 мая 1965 г.

12 мая с. г. в Москву прибыла делегация Комиссариата по атомной энергии Франции во главе с Генеральным администратором Р. Иршем. Основная цель приезда делега-